

技術報告

# Batch로에 대한 850°C 및 930°C 침탄의 비교 연구

## Comparison of 850°C with 930°C Carburizing in Batch Furnaces

문 일 영  
(주) 통일 열처리부

### 1. 개 요

동일시간, 동일조건에서 850°C 침탄은 930°C 침탄보다 침탄깊이가 저하된다는 것이 일반적인 인식이며, 이것은 공정시간(Cycle Time)을 무시한 침탄되는 시간을 기준으로 한 DATA이다. 그러나 작업상의 실소요 시간은 공정시간이므로 이 보고서에서는 공정시간을 기준으로 한 침탄깊이와 치수변화에 대해서 고찰하기로 한다.

(4)와 같은 등식을 얻을 수 있고 d2값은 d1값보다 항상 크다는 것을 알 수 있다. 이것은 공정 1과 공정 2의 t1과 t2시간 기준이다. 그러나 실작업 공정 CYCLE은 공정 1의 W1과 공정 2의 W2이다.

$$W1 = T1 + d', \quad W2 = T2 + d''$$

그런데, d'과 d''는 850°C까지 승온하는 시간으로 동일(d'=d'')하다. 따라서 공정 1과 공정 2의 공정시간을 T1과 T2로 하고 이것을 기준으로 고찰하기로 하겠다.

### 2. 이론적 검토

#### 2.1. 침탄깊이와 시간에 대해서 침탄깊이와 시간의 방정식

$$T.C.D(\text{전 침탄깊이}) = K \sqrt{t} \quad (\text{HARRIS방정식}) \quad \dots\dots\dots (1)$$

t : (침탄+ 확산) 시간

K : 상수

850°C에서의 K1=0.38942, 930°C에서의 K2=0.64682

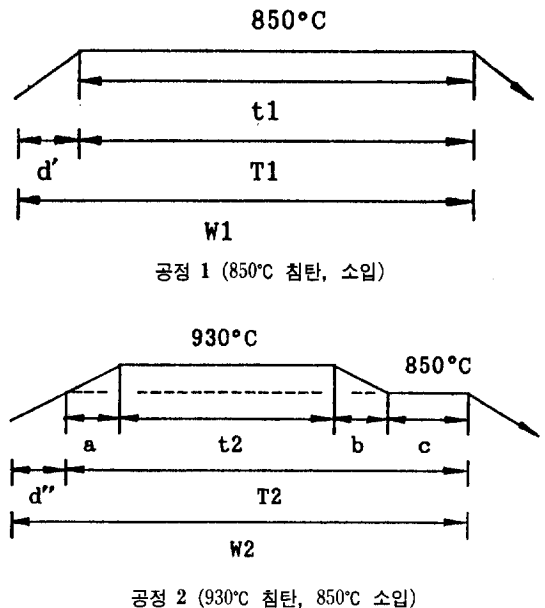
(1) 식에 대입하면

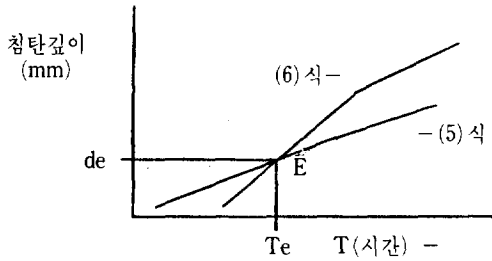
$$d1(T.C.D) = 0.38942 \sqrt{t1} \quad (850^\circ\text{C에서}) \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$d2(T.C.D) = 0.64682 \sqrt{t2} \quad (930^\circ\text{C에서}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

(2)와 (3)식에서 동일침탄시간(t1=t2) 동안 작업을 한다면

$$d2 = 1.66d1 \quad \dots\dots\dots (4)$$





그래프 1 침탄깊이(d)와 시간 (T)의 관계

공정 1과 공정 2로부터

$$\begin{cases}
 t1 = T1 \\
 t2 = T2 - (a+b+c)
 \end{cases}
 \begin{cases}
 a: 850^{\circ}\text{C에서 } 930^{\circ}\text{C까지의 승온시간} \\
 b: 930^{\circ}\text{C에서 } 850^{\circ}\text{C까지의 로냉시간} \\
 c: 850^{\circ}\text{C 유지시간}
 \end{cases}$$

위의 등식을 (2)와 (3)식에 대입하면

$$d1 = 0.38942 \sqrt{T1} \dots\dots\dots (5)$$

$$d2 = 0.64682 \sqrt{T2 - (a+b+c)} \dots\dots\dots (6)$$

좌변 그래프의 (5)식과 (6)식의 교차점 E를 구하기 위해서는

$$\begin{aligned}
 T1 &= T2 = Te \\
 d1 &= d2 = de
 \end{aligned}$$

를 (5)와 (6)식에 대입하면

$$de = 0.38942 \sqrt{Te} \dots\dots\dots (7)$$

$$de = 0.64682 \sqrt{Te - (a+b+c)} \dots\dots\dots (8)$$

(7)과 (8)식의 등식에서

$$0.38942 \sqrt{Te} = 0.64682 \sqrt{Te - (a+b+c)}$$

$$\frac{\sqrt{Te}}{\sqrt{Te - (a+b+c)}} = 1.66$$

양변을 제곱하면

$$\frac{Te}{Te - (a+b+c)} = 2.755$$

$$Te = 1.57(a+b+c) \dots\dots\dots (9)$$

Te값을 식(7)에 대입하면

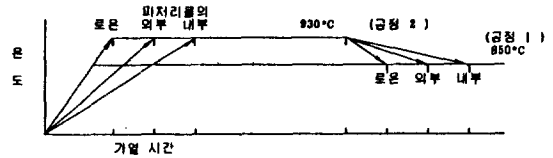
$$de = 0.38942 \sqrt{1.57(a+b+c)} \dots\dots\dots (10)$$

따라서 점 E의 좌표는 (9)와 (10)식으로부터

$$E(1.57M, 0.38942 \sqrt{1.57M}) \quad (M=a+b+c) \quad (11)$$

좌표 E로부터 1.57M 이하의 작업시간(T)에서는 공정 1이 공정 2보다 침탄깊이가 더 깊고 침탄깊이 0.38942  $\sqrt{1.57M}$ 이하를 요구할시에는 공정 1(850°C 작업)이 공정 2(930°C 작업)보다 작업시간이 작음을 알 수 있다. 또한, 동일 조건에서 M값이 클수록 (승온 및 로냉, 유지시간이 길수록) 좌표 E는 오른쪽 위로 이동하게 되어 유용한 공정 1(850°C 작업)의 작업 범위가 넓어지게 된다.

### 2.2. 피처리물의 변형에 대하여



1) 그림에서 알 수 있듯이 작업온도가 높을수록 피처리물의 외부와 내부의 온도 차가 크며 온도차가 큰만큼 열응력도 커지게 되어 변형량이 커지게 된다(승온시와 냉각시 동일 적용됨).

2) 온도가 높을수록 팽창이 커지며 수축시 피처리물의 변형도 커지게 된다.

### 3. 실험방법

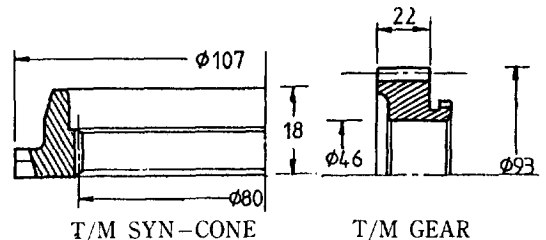
#### 3.1 작업로 및 SAMPLE 선정

##### 3.1.1 작업로

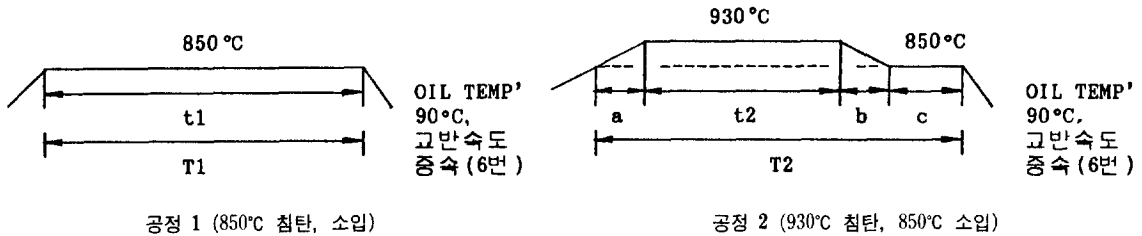
동경 열처리로 TDM 80 BRT BATCH로

##### 3.1.2 SAMPLE

변속기부품 중 SYN-CONE ...16개 } 재 질  
 변속기 GEAR ... 8개 } SCM420H



3.2 실험방법



공정 선택	SAMPLE NO	공 정 시 간			SAMPLE 품명 및 수량	비 고
		t	(a+b+c)	T		
공 정 1	실험 1	t1=1Hr20Min	0	T1=1Hr20Min	CONE : 2EA GEAR : -	t = (침탄+ 확산) 시간 a : 850°C에서 930°C 까지 승온 시간 b : 930°C에서 850°C까지 로냉시간 c : 850°C에서 유지 시간 (a+b+c) = 25+35+30 = 1Hr30Min
	실험 2	t1=2Hr50Min	0	T1=2Hr50Min	CONE : 2EA GEAR : -	
	실험 3	t1=3Hr35Min	0	T1=3Hr35Min	CONE : 2EA GEAR : 2EA	
	실험 4	t1=4Hr20Min	0	T1=4Hr20Min	CONE : 2EA GEAR : 2EA	
공 정 2	실험 5	t2=1Hr 5Min	1Hr30Min	T2=2Hr35Min	CONE : 2EA GEAR : -	
	실험 6	t2=1Hr37Min	1Hr30Min	T2=3Hr 7Min	CONE : 2EA GEAR : -	
	실험 7	t2=2Hr00Min	1Hr30Min	T2=3Hr30Min	CONE : 2EA GEAR : 2EA	
	실험 8	t2=3Hr00Min	1Hr30Min	T2=4Hr30Min	CONE : 2EA GEAR : 2EA	

로의 조건 : GAS침탄시 로내 탄소농도 1.1%C(C.P METER 측정치임) - (850°C, 930°C 동일) 공정 1, 2 QUENCHING 조건 동일, 공정 1, 2 동일로에서 시험, 로내압 15mmAq, 기타 열처리 조건 동일, 로내분위기 GAS는 메탄올, 침탄성 GAS는 프로판

4. 실험결과 및 고찰

4.1 실험결과

4.1.1 침탄깊이 결과

<공 정 1>

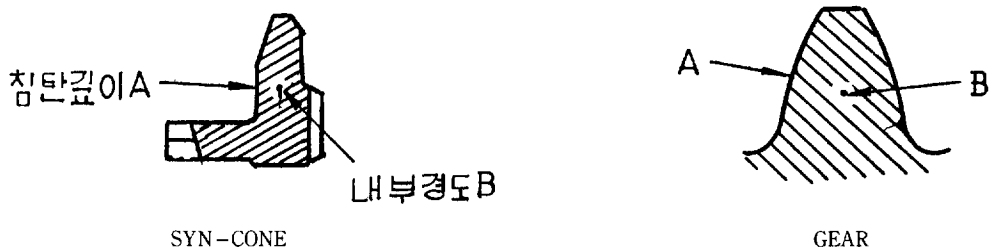
구 분		실험 1	실험 2	실험 3	실험 4	비 고
T1		1hr 20min	2hr 50min	3hr 50min	4hr 20min	E.C.D : 유효침탄 경화깊이 T.C.D : 전침탄 경화깊이
E C D	CONE	0.35, 0.37	0.47, 0.50	0.59, 0.61	0.71, 0.73	
	GEAR			0.57, 0.59	0.67, 0.69	
T C D	CONE	0.6, 0.61	0.70, 0.75	0.85, 0.90	1.10, 1.15	
	GEAR			0.80, 0.85	1.05, 1.10	

<공 정 2>

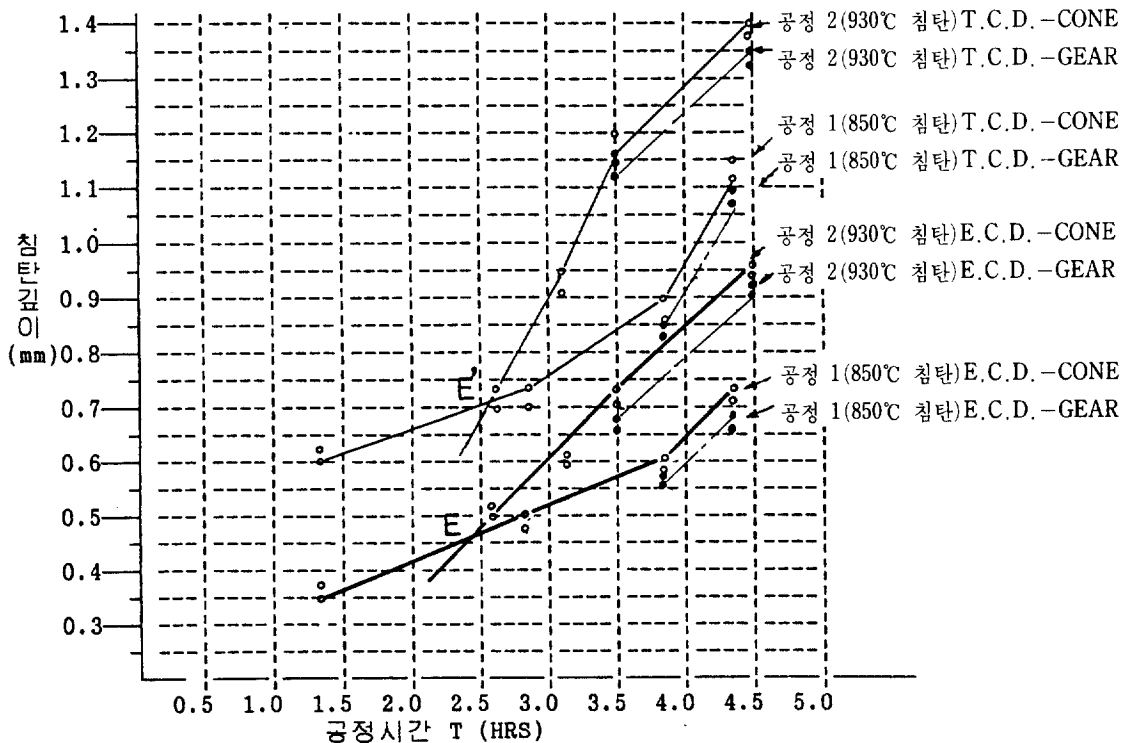
구 분		실험 5	실험 6	실험 7	실험 8	비 고
T2		2hr 35min	3hr 7min	3hr 30min	4hr 30min	E.C.D: HV 513기준
E C D	CONE	0.50, 0.52	0.60, 0.62	0.71, 0.73	0.95, 0.97	
	GEAR			0.68, 0.70	0.93, 0.95	
T C D	CONE	0.69, 0.73	0.90, 0.95	0.15, 0.20	1.35, 1.40	
	GEAR			0.02J, 0.07	1.30, 1.35	

\*\* 상기 측정은 VICKERS 경도기 측정법임.

1) 측정부위

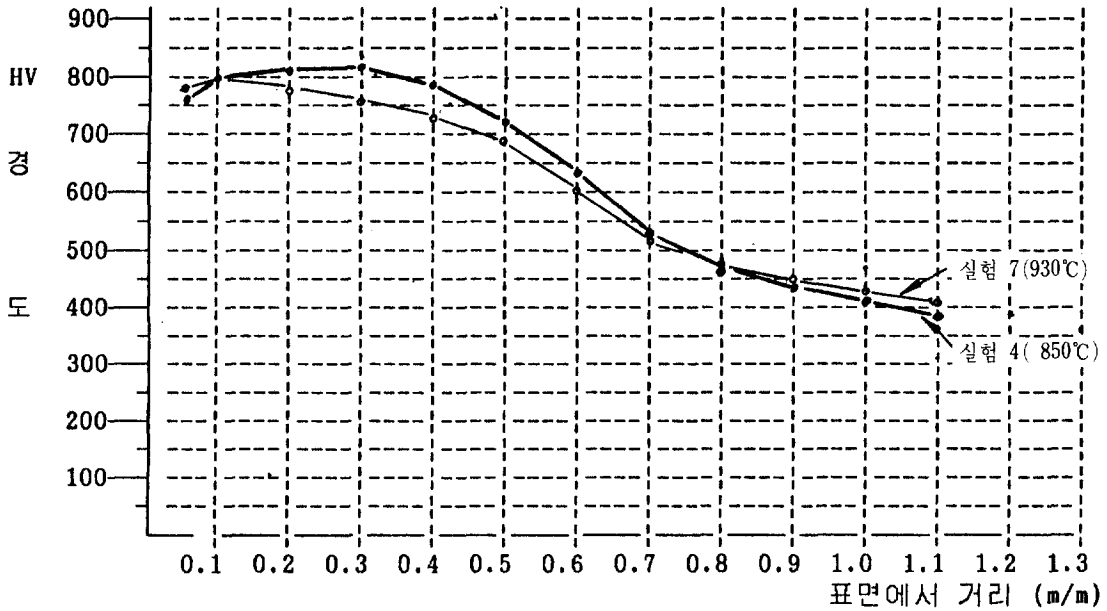


2) 공정시간 T와 침탄깊이의 관계 그래프



그래프 2 실험결과값에 의한 공정시간 T와 침탄깊이 관계 그래프

3) VICKERS 경도 추이 곡선



실험 4 표면경도 : HRC 65, 내부경도 : HRC 30.2

실험 7 표면경도 : HRC 64.5, 내부경도 : 31.2

4.1.2 내경치수 변화량

구 분	실험 2 (850°C)	실험 6 (930°C)	비 고	
열 전 치수	X 72.975mm Y 72.980mm	72.960mm 72.965mm	T/M SYN-CONE 내경 치수임. O.P.D (φ 2.0)	
열 후 치수	X 72.940mm Y 72.920mm	72.860mm 72.880mm		
치수 변화량	X -0.035mm Y -0.060mm	-0.100mm -0.085mm		
평 균 변화량	XY -0.0475mm	-0.0925mm		X, Y는 입의 직각방향

4.2 고 찰

4.2.1 경화 깊이 결과에 대하여

4.1.1항 그래프 2에서 알 수 있듯이 동일시간(T)처리 시 동일유효경화 깊이를 얻을 수 있는 POINT는 좌표

E(2.33, 4.2)이다. 즉, 850°C와 930°C에서 각각  $T_e = T_1 = T_2 = 2.33$  시간동안 작업을 하게 되면 동일침탄깊이 E.C.D. 0.42mm를 얻을 수 있고,  $T_e = T_1 = T_2 = 2.5$  시간동안 작업을 하게 되면 동일침탄깊이 T.C.D. 0.67을 얻을 수 있다. 따라서, 유효경화깊이 0.42(T.C.D. 0.67)mm이하를 원할 때에는 850°C에서 침탄을 하는 것이 930°C에서 침탄하는 것보다 오히려 시간적으로도 경제적임을 알 수 있다.

4.2.2 내경치수 변화에 대하여

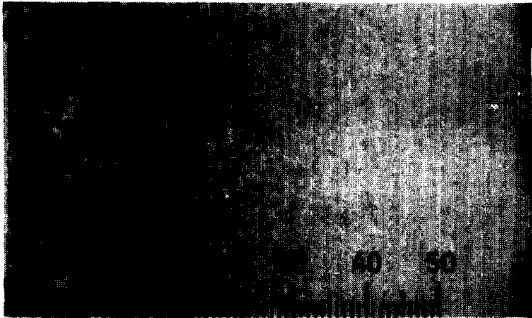
공정 2(930°C)의 피처리물 내경수축량에 비해 공정 1(850°C)의 피처리물 내경수축량이 약 44% 감소하였다. 이 결과로 보아 850°C 침탄공정이 930°C 침탄공정에 비해 내경수축량이 적음을 알 수 있다.

4.2.3 조직 비교

다음 현미경 조직사진의 실험 2의 조직은 850°C에서 2시간 50분( $T=2$ 시간 50분)동안 침탄, 확산 후 소입한 조직이며 실험 5의 조직은 930°C에서 1시간 5분( $T=2$ 시간 35분)동안 침탄, 확산 후 850°C에서 30분 유지 후 소입한 조직임.

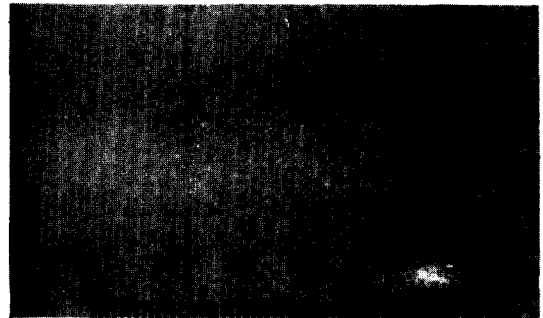
침탄깊이

실험 2 : E.C.D. 0.48  
T.C.D 0.72



(×100)

실험 5 : E.C.D 0.51  
T.C.D 0.71

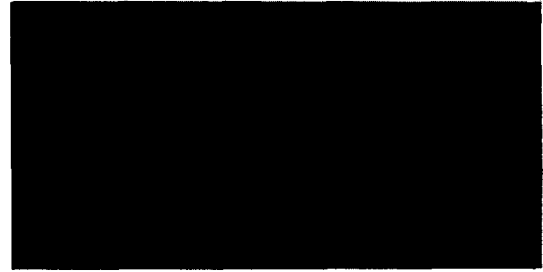


(×100)



(×200)

실험 2의 현미경 조직



(×200)

실험 5의 현미경 조직

\*\* 실험 2(850°C공정)의 조직은 실험5(930°C)의 조직보다 MARTENSITE크기가 미세함을 알 수 있음.

### 5. 결 론

식 11의 이론적 좌표 E(1.57M, 0.38942  $\sqrt{1.57M}$ )로부터 M=a+b+c=1시간 30분,  $T_e=1.57 \times 1.5=2.36$ 시간, T.C.D. de=0.6, E.C.D de=0.60-0.4=0.2mm 그래프 2로부터 E.C.D E(2.45, 0.46) 즉  $T_e=2.45$ , de=0.46, T.C.D E'(2.6, 0.71) 즉  $T_e=2.60$ , de=0.71임을 알 수 있다.

실험값의 좌표 E가 이론값의 좌표 E보다 오른쪽 위로 나타나 850°C 침탄의 유용성 범위가 더욱 넓어짐을 알

수 있다. 실험값으로부터 유효침탄깊이 0.46(T.C.D 0.71)mm이하를 얻기 위해서는 850°C 침탄이 930°C 침탄보다 경제적이 나타났다으며 로내의 HEATER & TUBE, 내화벽돌, CENTER FAN, RAIL, 열전대 등의 시설물이 930°C 침탄보다 850°C 침탄시 수명이 길어짐과 피처리물의 변형을 고려할 때 E.C.D 0.5~0.6 (T.C.D. 0.7~0.8)mm까지는 850°C 침탄이 유용할 것으로, 또한 변형을 고려한 제품에 따라서는 850°C 침탄을 적용하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.